

# EXPERIENCIAS E IDEAS PARA EL AULA

## UN ENFOQUE TRANSDISCIPLINAR PARA ENSEÑAR A MEDIR MAGNITUDES FÍSICAS A LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

### *A Transdisciplinary approach for teaching measuring physical magnitudes for students of Geological Engineering*

Jorge L. Herrera y Arturo Hernández (\*)

#### RESUMEN:

*El proceso docente-educativo dirigido a la formación de geólogos no siempre responde a la necesidad de hacerlos competentes para medir magnitudes físicas propias del desempeño profesional, debido a lo cual no queda preparado para cumplir algunas de las funciones propias del egresado de esta carrera. La formación de esta capacidad depende de la sistematización de un conjunto de habilidades asociadas al proceso de medición, que circula entre varias disciplinas o queda en el marco estrecho de una de ellas, lo que conlleva a una pérdida en los niveles de asimilación y profundidad de los contenidos y al final resulta que el ingeniero no está capacitado para medir con la exactitud y precisión requerida. El trabajo pretende presentar este problema, argumentarlo y hacer una propuesta para su solución, basada en un enfoque transdisciplinar.*

#### ABSTRACT:

*The learning-teaching process for students of geologists does not always correspond with the necessity of making them competitive for measuring physical magnitudes suitable for the professional performance, due to this, they are not very well prepared in order to fulfill the functions proper to this speciality.*

*The formation of this capacity depends on the sistematization of a group of abilities associated to the measuring process that goes around several disciplines or stays in the narrow frame of one of them. This situation provokes a loss in assimilation and deepness levels in the contents, and at the end, it results that the engineer is not capable to measure with a required accuracy and precision. This work pretends to show this problem, argue it and make a proposed solution based on a transdisciplinary approach.*

**Palabras clave:** Magnitudes físicas, proceso de medición, exactitud, precisión, transdisciplinaridad.

**Keywords:** Physical magnitude, measuring process, accuracy, precision, transdisciplinarity.

## INTRODUCCIÓN

El proceso docente-educativo cuyo objetivo es formar en el hombre y la mujer la habilidad de medición comienza desde los primeros grados de la escuela. La relación con las magnitudes de mayor importancia para el individuo (longitud, tiempo, masa) y sus unidades de medida correspondiente, así como las conversiones mutuas de unidades homogéneas son contenidos a formar en un egresado de la escuela primaria. En este propio nivel se introducen las reglas para el cálculo con los números aproximados, dado que los valores de las mediciones son precisamente cifras inexactas.

Estos contenidos se tratan en forma cíclica en la secundaria básica y el preuniversitario, cada vez a un nivel de profundidad mayor y circulan por diferentes disciplinas como un sistema único de influencias, cuyo propósito es el de enseñar al sujeto a medir.

En la Educación Superior, y en particular en las carreras relacionadas con las ciencias naturales, téc-

nicas y exactas, este proceso continúa cada vez con un interés más acentuado, pues al parecer, para el egresado de estas carreras la capacidad de medir es imprescindible en su formación, sobre todo en las de perfil de ingeniero.

Ahora bien: ¿qué concepción se maneja sobre qué es medir?; ¿cómo medir de modo exacto y preciso?; ¿qué importancia se le concede a esta capacidad?; ¿cómo se pretende lograr su formación?; ¿qué fallas hay en el proceso docente - educativo dirigido a este objetivo?; ¿cómo enfocar el problema para su solución?; son algunas preguntas cuyas respuestas se pretende esbozar en este trabajo.

## LA MEDICIÓN

La medición es un proceso que abarca un conjunto de actos experimentales dirigidos a determinar una magnitud física de modo cuantitativo, con el auxilio de los medios técnicos apropiados y en el que debe existir al menos un acto de observación.

(\*) Departamento de Física. Universidad de Pinar del Río. Martí no.270. P. del Río.C.P. 20100. Cuba.  
E-mail: [herrera@geo.upr.edu.cu](mailto:herrera@geo.upr.edu.cu) / [arturohdez@vrect.upr.edu.cu](mailto:arturohdez@vrect.upr.edu.cu).

La palabra magnitud está relacionada con el tamaño de las cosas y refleja todo aquello susceptible de aumentar o disminuir. Desde el punto de vista filosófico es la caracterización cuantitativa de las propiedades de los objetos y fenómenos de la realidad objetiva, así como de las relaciones entre ellos. A cada propiedad de un objeto, fenómeno o relaciones entre estos, se le caracteriza de modo cuantitativo con una magnitud.

La cantidad que expresa el valor de una magnitud es su medida y se determina a través del proceso de medición. Al valor numérico se le agrega la unidad de medida.

Las leyes de la naturaleza se expresan generalmente en forma matemática como relaciones entre magnitudes, estas relaciones son en esencia exactas, por ello se denominan ciencias exactas a las que expresan sus leyes a través de ecuaciones de base exacta.

Una medición se expresa por medio de una cantidad numérica y la unidad de medida correspondiente a la magnitud dada. A cada magnitud corresponde una o varias unidades. El desarrollo histórico de las ciencias señala la tendencia a unificar los sistemas de unidades y a lograr la simplificación de sus conversiones. Hoy día es universalmente aceptado el Sistema Internacional de Unidades que a partir de siete de ellas denominadas fundamentales, deriva todo el conjunto conocido, para expresar los valores de un sin número de magnitudes empleadas para caracterizar las propiedades de los objetos y fenómenos de la naturaleza. Esta derivación se hace a partir de relaciones que se establecen de modo arbitrario o que responden a leyes físicas.

### ¿CÓMO MEDIR MAGNITUDES FÍSICAS?

En esencia el proceso de medición consiste en comparar una magnitud dada con otra magnitud homogénea tomada como unidad de medida. Semejante comparación no siempre se efectúa directamente. Puede determinarse el valor de la magnitud deseada a partir de los valores de otras magnitudes medidas directamente, utilizando los cálculos indicados por ciertas relaciones matemáticas que responden a definiciones o a leyes de la naturaleza. De acuerdo con esto, se establece una clasificación de mediciones directas e indirectas cuyo alcance es relativo. En consonancia con el sistema de medición empleado, que incluye los instrumentos de medición, una magnitud que en un caso se mide indirectamente, en otro se puede medir de modo directo y viceversa, todo depende de los medios empleados.

En la casi totalidad de los instrumentos analógicos empleados para medir las magnitudes físicas conocidas, el sujeto lo que observa directamente son las desviaciones lineales del indicador de la escala, es decir, mide directamente longitudes que, a partir de una serie de correlaciones intermedias propias del instrumento, enlazan esa

desviación con la magnitud que se mide (por ejemplo: termómetros, voltímetros, amperímetros, manómetros, polarímetros, cronómetros, etc.). Los instrumentos digitales transforman estas correlaciones en impulsos eléctricos que aparecen como dígitos en una pantalla y aún cuando facilitan el proceso de medición, su exactitud no supera a los analógicos, que en última instancia se emplean como patrones de corrección.

### EXACTITUD Y PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES

El proceso de medición siempre produce alteraciones en el objeto de medición, en los medios de medición, en el ambiente y en el observador. Estas alteraciones en algunos casos pueden ser controladas y conocidas, se producen de modo sistemático y permiten elaborar factores de corrección o cotas de indeterminación. En otros casos se producen de modo aleatorio, imposibles de controlar. Esto hace que repitiendo mediciones con un mismo instrumento, en condiciones aparentemente iguales, no se obtengan valores similares, lo que indica que el acto de medición es irrepetible. Todo acto de medición es esencialmente inexacto y los valores obtenidos son números aproximados. El valor verdadero de una medición ( $X_0$ ) siempre será desconocido para el observador. El propósito de una medición es el de obtener una aproximación al valor verdadero, que se denomina valor medido ( $X$ ). La diferencia entre el valor verdadero y el valor medido es el error absoluto de la medición ( $Dx$ ).

$$DX = X - X_0$$

Como resultado de la medición, sólo podrá expresarse un mejor valor de la medición ( $X^*$ ) y la incertidumbre dentro de la cual es probable que se encuentre el valor verdadero

$$X = X^* \pm DX$$

En la medida en que el error absoluto sea más pequeño la medición es más exacta.

También se define el error relativo ( $dX$ ), como la relación entre el error absoluto y el valor medido, es decir:

$$dX = DX / X^*$$

En la medida en que el error relativo sea más pequeño la medición es más precisa.

### SIGNIFICADO DE MEDIR CON EXACTITUD Y PRECISIÓN.

Al expresar el valor de una medición no basta con expresar el valor medido como una determinación puntual, dado que ello no indicará cuán cerca o lejos estará del valor verdadero. Se hace necesario expresar el intervalo de indeterminación en esa medición, o sea expresarla como un intervalo de confianza; sólo así se sabrá cuán exacta y precisa es la medición realizada.

La Física es una ciencia exacta, sus leyes se expresan a través de relaciones matemáticas entre magnitudes, pero las expresiones matemáticas son totalmente exactas, en ellas los cálculos conducen a valores que representan puntos en la recta de los números reales, exactos y sin error. Por otro lado los valores de las magnitudes que se obtienen mediante la medición son números aproximados (inexactos en su esencia). ¿Cómo resolver esta aparente paradoja?

Hay que distinguir entre la exactitud de la Matemática y la exactitud de la Física. Esta última es la posibilidad de calcular las cotas de errores dentro de cuyos límites se cumplen sus leyes. Determinar la exactitud y precisión de las mediciones permite evaluar la veracidad de una ley física y sus límites de cumplimiento. Esto es válido para otras ciencias naturales y técnicas.

Al operar con valores aproximados en las ecuaciones de base exacta que expresan leyes o definiciones, hay que cuidar que el resultado no tenga más exactitud que la lograda en las mediciones. Para ello se emplean reglas para el trabajo con números aproximados que se enseñan en la escuela desde el nivel primario, se retoman en la enseñanza media y la falta de sistematización por otras asignaturas que deben ejercitarlas, hace que se olviden al momento de ingresar en la universidad.

### **IMPORTANCIA DE MEDIR CON EXACTITUD Y PRECISIÓN PARA EL INGENIERO GEÓLOGO**

La tendencia pragmatista de trabajar con tablas y cartas tecnológicas para determinar parámetros de trabajo, sin penetrar en la esencia de cómo se obtienen esos datos (los límites de tolerancia, sus indeterminaciones, etc.), hace que las capacidades necesarias al ingeniero geólogo para explotar, explorar y hacer prospección, unidas de modo indisoluble a la de realizar mediciones, queden pobremente formadas, dado que esta última deja de ser una necesidad para el estudiante que pierde la motivación por su aprendizaje.

La formación del ingeniero estará incompleta con este enfoque puramente tecnócrata de operario atado a la consulta de cartas y tablas tecnológicas. Es necesario penetrar en la esencia conceptual del cómo se hacen, y capacitarlo para ello, si realmente se desea darle una dimensión investigativa a la formación del geólogo.

El hábito de medir con exactitud y precisión forma parte de la formación científica del individuo, sólo así se le da la verdadera trascendencia al proceso de medición. Si no importa cuán lejos o cerca estén los valores obtenidos de los valores verdaderos, el sujeto no se responsabiliza con la trascendencia que puedan tener y no prestará atención ni cuidado al proceso de medición. Hacerlo bien no provoca especial recarga a la tarea práctica o experimental que, en cada disciplina del currículum, debe contribuir a esta capacitación, el problema está en que cada disciplina, asignatura y docente tengan clara la importancia de su contribución a la tarea.

### **¿CÓMO SE REFLEJA LA IMPORTANCIA DE MEDIR EN LOS CURRÍCULOS?**

De lo hasta aquí expresado no debe inferirse que en los planes de estudio para la formación de ingenieros geólogos no se le preste atención al proceso de enseñanza dirigido a capacitarlos en la ejecución de procesos de medición. Los ejemplos siguientes lo ilustran:

(Las notas entre paréntesis son del autor)

Problema: Necesidad de la prospección, exploración y explotación de los recursos del medio geológico.

Dentro de las funciones del egresado aparecen:

- Aplicar métodos de prospección y exploración geológica (¿No juegan las mediciones en estos métodos un importante papel?)
- Procesar e interpretar los resultados (¿De las mediciones?) de diferentes ensayos (¿Experimentos?), análisis de campo y de laboratorio.
- Aplicar métodos matemáticos, incluyendo software en la solución de problemas geológicos (¿No incluye el procesamiento estadístico de los datos?)
- Procesar materiales geológicos (¿Los datos obtenidos por mediciones?)
- Evaluación de impacto ambiental, económica, de recursos minerales, tecnológica, de la materia prima mineral. (¿No se evalúa a través del análisis de las mediciones? ¿No es aquí evaluar un resultado de medir?).

Dentro de los objetivos generales instructivos a lograr se incluyen:

- Ejecutar investigaciones geológicas.
- Procesar información (datos, mediciones) obtenidos en el campo y el laboratorio, aplicando las técnicas más modernas de procesamiento de datos.
- Manipular equipos (de medición) geológicos y geofísicos a partir de los conocimientos de los principios básicos de medición.

Disciplinas que contribuyen a la habilidad de medir (de nueve que tiene la carrera):

- Procesamiento de la información geológica y geofísica (incluye Matemática, Estadística y Computación). Primero y segundo años.
- Geoquímica (incluye la Química). Primero a tercer años.
- Geofísica (incluye la Física). Primero a quinto años.
- Geodinámica. Primero a cuarto años.
- Geología aplicada. Primero a quinto años.

Otras tareas que se ejecutan en los campos de acción relacionados con la temática son:

- El empleo de los métodos gráficos como técnica de ingeniería (fundamental en los procesos de medición).
- El empleo de las técnicas de cómputo (incluye el procesamiento de datos).
- El empleo de métodos y técnicas experimentales y de investigación científica.

Estos ejemplos evidencian la importancia que se le brinda al proceso de medición de magnitudes, incluyendo su procesamiento analítico y gráfico. El modelo del egresado declara la necesidad de qué hacer, inclusive de cómo hacerlo, el problema está en comprobar la efectividad de método.

### **¿CÓMO SE PRETENDE ENSEÑAR A MEDIR? ¿DÓNDE QUEDA LA EXACTITUD Y PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES?**

Está claro que para que una habilidad tan general como medir magnitudes físicas, se transforme en una capacidad en el estudiante, deba sistematizarse un sinnúmero de acciones y habilidades más específicas, a unos niveles de profundidad y asimilación de esos contenidos cada vez más crecientes en orden de complejidad. No basta que una asignatura o disciplina pretenda resolver el problema, si éste no forma parte de los objetivos de otras. Debe existir una integración disciplinar en la formación de ese contenido.

Históricamente los planes de estudio han dado un enfoque multidisciplinar al problema de la integración disciplinar, es decir que para resolver el problema cada disciplina hace aportaciones sin perder por ello su individualidad o parcela de competencia (López, 1995).

En el caso de la carrera de Geología, en nuestro país (Cuba), se ha incorporado, además, un enfoque interdisciplinar a la formación del geólogo, creando híbridos disciplinares, de modo que el plan de estudios se reduce a sólo nueve disciplinas.

En nuestro caso un conjunto de disciplinas debe contribuir al problema de enseñar a medir y de hecho lo hacen. Veamos algunos ejemplos:

#### **Procesamiento de la información (Matemática):**

La Geometría Analítica aporta los contenidos de sistemas de coordenadas, representación de rectas y cónicas.

El Cálculo Diferencial e Integral aporta los contenidos de interpolación numérica, fórmulas de derivación, cálculo de integrales, métodos para determinar raíces de una ecuación, representación gráfica de curvas, problemas de extremos de funciones, sistemas de coordenadas (cartesianas, polares, cilíndricas, esféricas).

En las Ecuaciones Diferenciales se resuelven ecuaciones que describen fenómenos físicos y las formas de describirlos en forma matemática.

#### **Estadística:**

Se estudian las distribuciones, incluyendo la normal, los ajustes por mínimos cuadrados, o sea elementos de la Teoría de Errores, básicos para el procesamiento de los datos experimentales.

#### **Geoquímica:**

Manipulación de medios técnicos y de laborato-

rios, hacer cálculos cinéticos y termodinámicos, evaluar y determinar parámetros de propiedades físicas de minerales, confeccionar o usar tablas de datos de espectrografía óptica y de rayos X, etc.

#### **Geofísica:**

Adquirir, procesar, elaborar e interpretar datos por medio de mediciones hechas en laboratorios o polígonos docentes de campo. Debe anotarse que aquí falla el enfoque interdisciplinar, por la marcada diferencia en los niveles de exigencia en la calidad del proceso de medición que se hace en las asignaturas de Física y las del resto de la disciplina, se ha reducido lo interdisciplinar a la suma y no la integración de dos disciplinas.

#### **Geodinámica:**

Esta disciplina incluye Geología, Topografía, Dibujo, Paleontología, Geotectónica, Estratigrafía, etc; hasta un total de once asignaturas, declara entre las habilidades a formar, las de aplicar métodos estadísticos para procesar datos obtenidos a partir de mediciones, incluyendo los analíticos y gráficos.

#### **Geología aplicada:**

Esta es la disciplina integradora, con alto componente de práctica laboral y declara el objetivo de procesar la información obtenida en el laboratorio y el campo, así como seleccionar métodos de cálculo para determinar reservas minerales en yacimientos, evaluar aguas subterráneas, condiciones geológicas de terrenos para obras, impacto ambiental, etc. Esto ilustra como aparece como un elemento fuerte la realización y procesamiento de mediciones de magnitudes físicas. Hasta en la parte de gestión económica aparecen los cálculos con unidades monetarias.

En todos los casos se sigue un enfoque multidisciplinar que presupone:

Las disciplinas que proveen al estudiante de los contenidos teóricos relacionados con el procesamiento matemático (analítico y gráfico) de datos tomados en los experimentos (mediciones).

Los conocimientos precedentes relacionados con el manejo de números aproximados (las reglas de aproximación y redondeo, la representación y operaciones con números aproximados comienzan a estudiarse desde la primaria y continúan profundizándose en la escuela media pero su empleo no trasciende a otras disciplinas fuera de la Matemática).

Las disciplinas que hacen un uso habitual de estos contenidos (en particular la Física, juega un papel principal.)

Las disciplinas que deben contribuir a sistematizar estas habilidades, incorporando estos objetivos como propios.

La realidad actual es que la mayor parte de los estudiantes de estas carreras no está capacitada para hacer una medición que puedan presentarla como un intervalo de confianza. El proceso de medición ha

quedado relegado a las determinaciones puntuales de los valores, para lo cual en muchos casos existe el convencimiento de que sólo se necesita medir una vez.

#### **Las consecuencias de estas insuficiencias pueden resumirse:**

- No hay una real formación científica en un sujeto del área de las ciencias técnicas y/o experimentales si no está capacitado para medir con exactitud y precisión, pues ello precisamente le confiere carácter científico al proceso. La pretendida formación como investigador queda incompleta.
- No se cumplen las pretendidas intenciones relacionadas con los procesos de investigación científico - técnica que aparecen en los planes de estudio, dirigidos a capacitar a los egresados en funciones de diseño, evaluación, diagnóstico, instalación, dirección de procesos, etc.
- Hay un atiborramiento de contenidos y pérdida de tiempo que al final resultan inútiles, al no cumplirse los objetivos para los que aparecen en los currículos.

#### **¿DÓNDE FALLA EL PROCESO DOCENTE - EDUCATIVO DISEÑADO PARA FORMAR LA CAPACIDAD DE HACER MEDICIONES EXACTAS Y PRECISAS?**

El enfoque multidisciplinar tiende a que varias disciplinas contribuyan a formar la capacidad de medir bien un conjunto de magnitudes, pero que pocas o ninguna de ellas controle de modo eficaz si tal conocimiento o habilidad relacionados con ésta se formó de modo eficiente. Veamos algunos ejemplos:

- Los problemas de precedencia de los contenidos debido a insuficiencias del currículum. Por ejemplo: la Estadística trata los contenidos que sirven de base a la Teoría de Errores para el procesamiento de las mediciones, antes de que los estudiantes cursen la Física y la Química donde se necesita usar estos contenidos.
- En la resolución de problemas teóricos y prácticos en las ciencias exactas que garantizan la formación básica del geólogo e inclusive en las disciplinas básicas específicas, no se exige exactitud y precisión en los cálculos numéricos, donde se deben aplicar reglas sencillas que se conocen desde la enseñanza elemental.
- Las clases prácticas se realizan sobre problemas abstractos (procesamiento de un dato, construcción de gráficos, ploteo de funciones, etc.) en los que no se emplean valores reales de mediciones y no sobre problemas, al menos modelados, del tipo que deberá enfrentar el egresado. Con esto cada disciplina solo responde a la lógica de su ciencia y no se dirigen a un fin común, son disciplinas para sí y no disciplinas en sí.

#### **¿CÓMO LOGRAR UN PROCESO DOCENTE - EDUCATIVO EFICAZ, EN EL EMPEÑO DE FORMAR LA CAPACIDAD DE MEDIR CON EXACTITUD Y PRECISIÓN?**

Dentro de los diversos enfoques que se siguen en la actualidad para lograr una integración disciplinar, el transdisciplinar es una propuesta tentadora para lograr el objetivo de formar una capacidad de medición en ingenieros, de modo eficaz. Este enfoque de integración disciplinar presupone la existencia de significados profundos compartidos por un conjunto de disciplinas que pueden circular de unos a otros, conformando un sistema omnicompreensivo (López, 1995).

El conjunto de habilidades relacionadas con la capacidad de medición, los hábitos que necesariamente lo acompañan, los conocimientos de basamento teórico de esas habilidades, deben formar un sistema de contenidos de profundo significado para cada disciplina integrada a la tarea y debe quedar como un objetivo a lograr y controlar en cada asignatura que aporta su ladrillo a la obra; de lo contrario quedará incompleta o con fallas en la solidez de su estructura, el egresado tendrá lagunas en su formación.

La primera tarea será la de resolver las dificultades en el diseño curricular, de modo que los problemas de precedencia se eliminen o atenúen.

Por ejemplo, en la disciplina Matemática, la Geometría Analítica, al estudiar la representación de funciones lineales, exponenciales y potenciales (cónicas) no debe trabajar en el abstracto de la lógica de la ciencia solamente, en sus clases de formación de habilidades debe insistirse en la representación gráfica del diseño de las escalas en los sistemas de coordenadas y utilizar datos que permitan la interpolación de expresiones que respondan a leyes naturales reales, que por cierto en su mayoría son lineales (o linealizables), exponenciales y potenciales. El control del cumplimiento de los objetivos debe llegar a la representación gráfica de una ley natural de datos tomados de la realidad con ello no se rompe la lógica de la ciencia matemática, el paso de lo abstracto a lo concreto y viceversa presupone una real unidad dialéctica.

El Cálculo Diferencial e Integral, en el análisis de representación gráfica de funciones de una variable y en el estudio de los sistemas de coordenadas (cartesianas, polares, cilíndricas y esféricas), debe trabajar con funciones que representen procesos naturales reales y hacer la representación en gráficos también reales (usar papel milimetrado, polar, logarítmico, etc.) con datos reales; que esto constituya una habilidad a controlar en esta disciplina y no lo sea exclusivamente de la Física.

En Computación, al trabajar los programas utilitarios ligados al sistema Windows deben formarse habilidades de manejar una base de datos experimentales, tabularlos y representarlos gráficamente. Una integración disciplinar se lograría con certeza si se utilizarán bases de datos de mediciones tomadas del laboratorio, el campo, etc.; que respondan a experimentos o procesos naturales.

La Estadística, debe incluir los elementos teóricos propios del procesamiento de datos experimentales, si hay problemas de precedencia que no se puedan salvar, estos elementos teóricos deben introducirse como contenido de estudio de la asignatura que primero lo necesite, sea la Física, la Química o cualquier otra, al menos en un nivel de empleo práctico y después retomarse en toda su profundidad teórica, pero siempre reforzando habilidades en el manejo de datos tomados de experimentos reales.

En las clases prácticas de solución de problemas teóricos y experimentales debe aparecer como objetivo clave la ejecución de cálculos numéricos utilizando las reglas para el trabajo con números aproximados. Esto debe constituir una exigencia permanente en todas las disciplinas que relacionen estos contenidos. Igual exigencia debe tener la ejecución de los trabajos y proyectos de curso y de diploma, en los que el ingeniero en formación intermedia o terminal demuestre que está capacitado para medir con precisión y exactitud.

Las disciplinas básicas específicas y del ejercicio de la profesión no pueden estar ajenas al problema, este debe constituir un significado profundo compartido por todas las disciplinas ligadas al mismo. Cada asignatura debe tener una estrategia clara de su contribución al objetivo de enseñar a medir bien. Las involucradas con el proceso de medición aportarán la parte que les corresponde sin restarle importancia, ya sea algo tan simple como cuidar las reglas de aproximación o de redondeo en un problema numérico. No restar importancia a los métodos gráficos, tanto en la construcción, como en la interpretación, exigir tabulaciones cuidadosas de los datos de las magnitudes medidas, precisar el número de cifras exactas necesarias en los números irracionales que aparecen en muchas expresiones, al brindar los datos en los problemas, cuidar que el número de cifras significativas precise la exactitud del instrumento con que se midieron, al brindar los valores de las llamadas constantes universales (velocidad de la luz en el vacío, constante de gravitación universal, aceleración de la gravedad, constantes de Boltzman, de Planck, de los gases, etc.) agregar el intervalo de confianza con que han sido determinadas en las mediciones más recientes de las mismas.

El enfoque transdisciplinar significa que el objetivo de capacitar al futuro ingeniero para hacer mediciones exactas y precisas conlleva a la formación de un conjunto de habilidades que se forman, sistematizan y consolidan en diferentes disciplinas, que las deben tener como objetivos claves a ser evaluados de modo preciso, aún cuando puedan parecer alejados de la lógica de las mismas.

## CONCLUSIONES:

La solución del problema presentado es una tarea ardua que debe comenzar con una revisión del currículum, que no provoque otras incongruencias, precisará indicaciones metodológicas para cada dis-

ciplina y asignatura, diseñará una capacitación a los docentes en los aspectos teóricos y prácticos del proceso de medición y necesitará de un control de la eficacia del proceso docente - educativo, dirigido a cumplimentar el objetivo planteado en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Álvarez de Zayas, C. (1992). La escuela en la Vida. Editorial F.Varela. La Habana.
- Cartaya Saiz, Oscar; (1982). Introducción al Laboratorio de Física, Fundamentos de la Teoría de Errores. Editora ISPJAE. La Habana.
- Fuentes, H. (1989). Perfeccionamiento del sistema de habilidades en la disciplina Física General para estudiantes de Ciencias Técnicas. Tesis de doctorado en Ciencias Pedagógicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.
- Galperin, P. Y. (1968). Desarrollo de las investigaciones sobre la formación de las acciones mentales por etapas. Impresora "André Voisín". La Habana.
- Galperin, P. Y. (1986). Psicología pedagógica y de las edades. Editorial Pueblo y Educación. C. Habana.
- García del Portal, T. (1990). Sobre la enseñanza de la ingeniería. El informe TECHNION. Revista Cubana de Educación Superior. Vol.x (2).
- González Pacheco, O. (1989). La formación de habilidades generales para actividades de estudio. CEPES U. de la Habana. Editorial ENPES. La Habana.
- González Pacheco, O. (1992). El planeamiento curricular en la educación superior. CEPES Universidad de la Habana. Editorial ENPES. La Habana.
- Gil, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?. Enseñanza de las ciencias 9(1), 69-77. España.
- Gil, D.; Belléndez, A. (1990). La formación del profesorado universitario de materias científicas. II Jornadas de Didáctica Universitaria. Alicante España.
- Hernández, A. (1999). La lógica del tema y su relación con la formación del sistema de conocimientos y habilidades en la asignatura Petrología. Tesis de doctorado en Ciencias Pedagógicas. Universidad de Pinar del Río.
- Horruitinier, P. (1985). El perfeccionamiento de la disciplina Física para estudiantes de ingeniería. Tesis de doctorado en Pedagogía. Santiago de Cuba.
- Leontiev, A. (1981). Actividad, conciencia y personalidad. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- López Rupérez, F. (1995). Una nueva fuente de inspiración para la educación científica. Enseñanza de las Ciencias 13 (2) 249-256. España.
- Ministerio de Educación Superior, Cuba. (1998). Plan de estudios de la carrera en ingeniería en Geología. Moa, Holguín.
- Petrovsky, A. V. (1988). Psicología Pedagógica y de las Edades. Editorial Pueblo y Educación. C. Habana.
- Petrovsky, A. V. El trabajo y las Habilidades. Editorial Progreso. Moscú.
- Portuondo Duany, R. (1988). Procesamiento de Datos Experimentales. Editorial ENPES. C. Habana.
- Talizina, N. (1988). Psicología de la Enseñanza. Editorial Progreso. Moscú.
- UNESCO. (1995). Documento de política para el cambio y el desarrollo de la educación superior. ■